

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-114184

(43)Date of publication of application : 18.04.2003

(51)Int.Cl.

G01N 13/14
G02B 21/00

(21)Application number : 2001-308153

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 04.10.2001

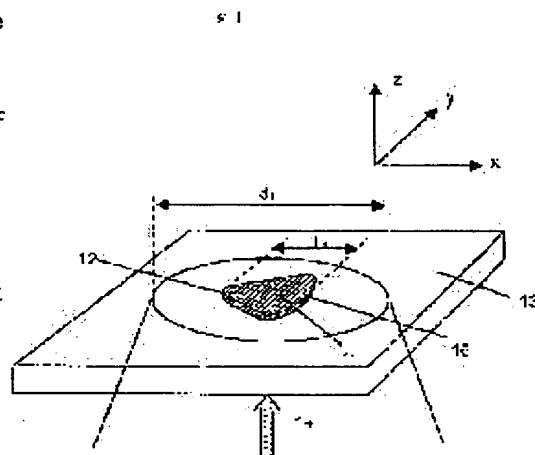
(72)Inventor : MATSUMOTO TAKUYA
KIGUCHI MASAFUMI
SUKETA YASUSHI

(54) NEAR-FIELD LIGHT GENERATION APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a near-field light probe whose resolution and efficiency are high.

SOLUTION: Near-field light is generated by using a plane scatterer 11 which is formed on the surface of a substrate and whose width becomes gradually small. The area of the scatterer 11 is made smaller than the area of a light spot and the material, the shape and the size of the scatterer are set so as to generate plasmon resonance. Thereby, the intensity of the near-field light is intensified. Consequently, it is possible to obtain the near-field light generation apparatus which uses the light highly efficiently.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Ref. 2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-114184

(P2003-114184A)

(43) 公開日 平成15年4月18日 (2003.4.18)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 1 N 13/14

G 0 1 N 13/14

B 2 H 0 5 2

G 0 2 B 21/00

G 0 2 B 21/00

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号

特願2001-308153(P2001-308153)

(22) 出願日

平成13年10月4日 (2001.10.4)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 松本 拓也

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 木口 雅史

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 近接場光発生装置

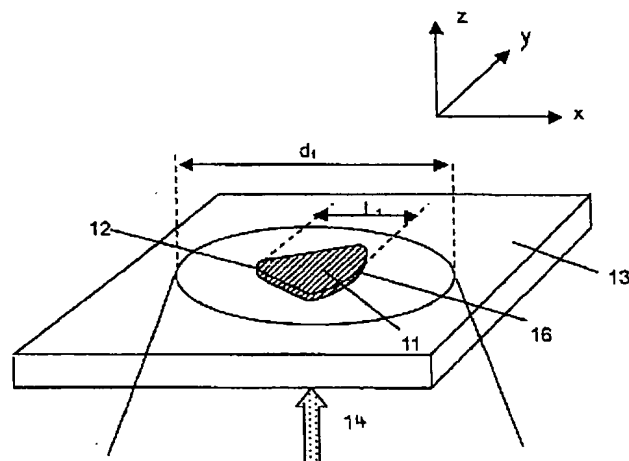
(57) 【要約】

【課題】本発明は、高分解能、高効率な近接場光プローブを提供することを目的とする。

【解決手段】基板表面に形成された幅が徐々に小さくなった平面状の散乱体11を用いて近接場光を発生させる。このとき散乱体11の面積を光スポットの面積より小さくし、さらに散乱体の材質、形状、寸法をプラズモン共鳴が発生するように設定することにより、近接場光強度を増強する。

【効果】 光の光利用効率の近接場光発生装置を得ることができる。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】光源と、近接場光を発生させる1の頂点の方向に向かい幅が小さくなった導電性の散乱体を備え、前記散乱体の面積は、前記光源から前記散乱体に照射される光のスポット面積より、または前記散乱体に照射される光の波長の2乗より小さいようにされたことを特徴とする近接場光発生装置。

【請求項2】前記散乱体に照射される光のスポット面積は、前記散乱体の面積の100倍以下であることを特徴とする請求項1記載の近接場光発生装置。

【請求項3】光源と、近接場光を発生させる1の頂点の方向に向かい幅が小さくなった導電性の散乱体を備え、前記散乱体の前記頂点と前記頂点から最も遠い点の距離が、前記散乱体に照射される光のスポット径または前記散乱体に照射される光の波長より小さいようにされたことを特徴とする近接場光発生装置。

【請求項4】前記散乱体に照射される光のスポット径は、前記距離の10倍以下であることを特徴とする請求項3記載の近接場光発生装置。

【請求項5】前記散乱体は3点以上の頂点を持ち、前記1の頂点以外の頂点は、前記1の頂点の曲率半径よりも大きな曲率半径を有するか、または扇型、または前記1の頂点に向かって角度が多段階に変化していることを特徴とする請求項1乃至4何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項6】前記散乱体の面と、試料または記録媒体の設置面が実質的に平行であることを特徴とする請求項1乃至5何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項7】前記散乱体の面と、試料または記録媒体の設置面のなす角が0度より大きく90度以下であり、前記1の頂点から前記近接場発生装置に設置される試料または媒体までの距離が、前記散乱体の前記1の頂点以外の部分から前記近接場発生装置に設置される試料または媒体までの距離よりも短くなるように、前記散乱体が配置されたことを特徴とする請求項1から5何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項8】前記1の頂点は曲率を有し、前記第1の頂点にひいた第一の接線と、前記第一の接点に平行で前記第1の頂点とは他端側の第二の接線との距離をL、前記散乱体の誘電率の実数部を ϵ 、前記散乱体周辺の材質の誘電率を ϵ_a 、前記散乱体の材質に依存する係数をP、前記1の頂点の角度に依存する係数をA、前記媒体または試料の誘電率に依存する係数をMとしたとき、 $P \times (-2.5 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) + 30) < L < P \times (-20 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) + 50)$

または、

$$P \times (-70 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) - 850) < L < P \times (-90 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) + 50)$$

を満たすことを特徴とする請求項1乃至7何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項9】前記散乱体は銀を70%以上含み前記係数Pが1、または前記散乱体は金を70%以上含み、前記係数Pが1、または前記散乱体は銅を70%以上含み、前記係数Pが1、または前記散乱体はアルミを70%以上含み、前記係数Pが0.5、

または前記散乱体はマグネシウムを70%以上含み、前記係数Pが0.8であることを特徴とする請求項8記載の近接場光発生装置。

10 【請求項10】前記近接場光発生装置に設置する媒体または試料が誘電体であるとき、前記係数Mが0、前記近接場光発生装置に設置する媒体または試料が金属または半導体であるとき、前記係数Mが5であることを特徴とする請求項1乃至9何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項11】前記1の頂点の頂角が30度以上、80度以下であることを特徴とする請求項1乃至10何れかに記載の近接場光発生装置。

20 【請求項12】前記散乱体に入射する光の中心位置が、前記散乱体の中心位置または前記1の頂点の位置に実質的に一致することを特徴とする請求項1乃至11何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項13】前記散乱体は2以上有り、前記散乱体同士の間隔は、前記光源から入射する光の波長以下であることを特徴とする請求項1乃至12何れかに記載の近接場光発生装置。

30 【請求項14】前記散乱体は2つの同形状からなり、一の散乱体の向きは、他の散乱体を、近接場光が発生する頂点を中心に90度または180度回転させたことを特徴とする請求項1乃至12何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項15】前記散乱体は、基板に埋め込まれて形成され、前記散乱体表面と前記基板表面とが、実質的に同一平面上にあることを特徴とする請求項1乃至14何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項16】前記散乱体は基板上に形成され、前記基板にはパッド部が形成され、前記散乱体表面とパッド部表面とが実質的に同一平面上にあることを特徴とする請求項1乃至14何れかに記載の近接場光発生装置。

40 【請求項17】前記散乱体の厚さが、前記1の頂点に向かい薄くなっていることを特徴とする請求項1乃至16何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項18】前記散乱体の近傍に、遮光膜が形成され、前記散乱体と前記遮光膜の間隔が前記光源からの光の波長よりも小さいことを特徴とする請求項1乃至17何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項19】前記遮光膜と前記散乱体が接合された部分を有することを特徴とする請求項18記載の近接場光発生装置。

50 【請求項20】前記散乱体である第1の膜と、遮光膜となる第2の膜とを有し、前記第1の膜と前記第2の膜の

間隔が、前記散乱体に入射する光の波長以下で、前記第2の膜に前記散乱体に入射する光の波長以下の開口が形成され、その開口の位置は前記散乱体の前記1の頂点の位置に実質的に一致することを特徴とする請求項1乃至17何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項21】前記散乱体は、集光素子上の集光点、または光共振器の近傍、または半導体レーザーの出射面近傍または光検出器の受光面近傍に形成されたことを特徴とする請求項1乃至20何れかに記載の近接場光発生装置。

【請求項22】前記散乱体は、円錐もしくは多角錐の突起の先端部に形成されたことを特徴とする請求項1乃至21何れかに記載の近接場光発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、近接場光を発生させる近接場光発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の光学顕微鏡では、光はレンズを用いて集光させる。この場合、分解能は光波長により制限される。これに対し近接場光学顕微鏡では、レンズの代わりに、寸法がナノメートルオーダーの微小構造、例えば径が光波長以下の微小開口を用いて光を集光させる。光をこの微小構造に当てると、その微小構造近傍には近接場光と呼ばれる局在した光が発生する。この近接場光を試料近傍に近づけ、試料表面上を走査させることにより、微小構造の寸法で決まる分解能で試料の形状や光学特性を測定することができる。近年この顕微鏡は、生体試料、半導体量子構造、高分子材料等の形状測定や分光、および高密度光記録など幅広い分野に応用され始めている。なお、本明細書で近接場光とは、局在した光、すなわち波数が虚数成分を持つ光をいう。

【0003】近接場光発生器（以下近接場光プローブと呼ぶ）としては、光波長以下の微小開口をもつ先鋭化された光ファイバ（光ファイバ・プローブ）が広く用いられる。このファイバ・プローブは、光ファイバの一端を、加熱しながら引き伸ばしたり、化学エッチング法を用いることにより先鋭化した後、先端以外を金属でコーティングすることにより作製される。光ファイバに光を導入することにより、先端に形成された微小開口近傍に近接場光を発生させることができる。

【0004】しかし上記のファイバ・プローブは、光利用効率が低いという欠点を持つ。例えば開口径が80nmのとき、ファイバに入射する光の強度とファイバ先端から出射する光の強度の比は 10^5 以下である（Applied Physics Letters, (和名) アプライドフィジックスレターズ, Vol. 68, No 19, p2612-2614, 1996）。

【0005】そこで、平面金属散乱体を用いたプローブが提案されている。これは、図34に示すように、三角形の形状をした平面状金属散乱体341を平面基板上に形成

したプローブである。a) には、金属散乱体341を1つ形成したプローブを、b) には、金属散乱体341を2つ形成したプローブを示す。X方向に偏光した光を入射させると、頂点342に局在した近接場光が発生する。特に、入射光の波長をプラズモンの共鳴に合せることにより非常に強い近接場光を発生させることが出来る（Technical Digest of 6th international conference on near field optics and related techniques, the Netherlands, Aug. 27-31, 2000, p55）。a) では、金属散乱体341の頂点342から、近接場光が発生し、b) では、金属散乱体341を2つ、それぞれの頂点の間隔が数10nm以下になるように配置され、頂点間343に局在した近接場光が発生する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記の三角形の形状をした平面状の散乱体を用いたプローブは、非常に高い近接場光発生効率を実現することが可能である。このプローブでは、光の振動数と金属中に発生するプラズモンの共鳴周波数を一致させると非常に高い効率が得られる。

【0007】しかし、この従来例において、散乱体の寸法や形状の最適条件は示されていない。

【0008】本発明は、平面状の散乱体を用いたプローブにおいて、プラズモンを効率よく発生させるための、最適な散乱体の形状、および寸法を提供し、これにより高分解能、高効率な近接場光プローブを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的は、以下の構成とすることによって達成される。

【0010】近接場光が発生する頂点の方向に向かい幅が小さくなった導電性の散乱体により近接場光を発生させ、散乱体の面積が散乱体に照射された光のスポット面積、または散乱体に照射された光の波長の2乗より小さくなるようにする。長さでいうと、散乱体の近接場光が発生する頂点とその頂点から最も遠い点の距離が、散乱体に照射された光のスポット径または照射された光の波長より小さくなるようにする。これにより、散乱体中に照射される光の位相が各点において揃うようになるので、プラズモン共鳴を効率良く励起させることが出来る。また上記散乱体に照射された光のスポット面積は、散乱体の面積の100倍以下（長さで表現すると散乱体に照射された光のスポット径は散乱体の近接場光が発生する頂点と頂点から最も遠い点の距離の10倍以下）にすると良い。これにより散乱体に当たらずに通り返してしまう光の量を減らすことができるので、光利用効率を向上させることが出来る。なお、上記の散乱体に入射する光の中心位置は、散乱体に導入される光のエネルギーを最大にするために散乱体の中心位置に合わせると良い。または光の強い部分を単一にするために、入射光の中心位置を近接場光が発生する頂点の位置に実質的に一致させて

も良い。ここで、実質的に一致とは、入射光の中心位置と頂点の距離が入射光の光スポットの半値全幅の1/2以内となることをいう。なお、本明細書では、頂点とは、第1の線(辺)と第2の線(辺)が現実に交差する点のみならず、所定の曲率を有する場合も含まれる。

【0011】上記散乱体の面と、試料または記録媒体の面は実質的に平行になるようにする。ここで、実質的に平行とは、散乱体の面と、試料または記録媒体の面のなす角が 5° 以内であることをいう。これにより、光を試料または記録媒体の面と垂直な方向に光を入射させることが可能になり、従来の顕微鏡や記録/再生装置に用いられる光学系を用いることが可能になる。また、前記散乱体の面と、試料または記録媒体の面のなす角は0度より大きく、90度以下にしても良い。このときは、近接場光が発生する頂点から試料または媒体までの距離が、散乱体の他の部分から試料または媒体までの距離よりも短くなるように散乱体を配置する。これにより、近接場光が発生する頂点と他端側のエッジ部に発生する近接場光の影響を少なくすることが出来る。

【0012】上記散乱体の形状は、例えば3点以上の頂点をもつ膜にする。このとき、近接場光が発生する頂点以外の頂点で近接場光が発生するのを防ぐために、その頂点の曲率半径を近接光が発生する頂点の曲率半径よりも大きくする。散乱体の形状は、幅が小さくなる膜と円形の膜を組み合わせた形状の膜または扇型のように曲線部を持つ形状であっても良い。曲線部の曲率半径を近接場光が発生する頂点の曲率半径よりも大きくすることにより、近接場光が発生する頂点以外の部分で近接場光が発生するのを防ぐことが出来る。また、近接場光が発生する頂点の角度は多段階に変化させても良い。例えば、上記の幅が小さくなる膜と円形の膜を組み合わせた形状の膜において近接場光が発生する先端部での頂角を小さくし、先端から離れた部分の角度を大きくすれば、円形の部分の曲率半径をより大きくすることが可能で、円形の部分に発生する近接場光強度を小さくすることが出来る。また逆に、近接場光が発生する先端部での頂角を大きくし、先端から離れた部分の角度を小さくすれば近接場光が発生する頂点の他端側のエッジ部の長さを小さくすることが出来る。これにより、散乱体全体の面積を小さくすることが可能で、後で述べるように多数の散乱体を用いる場合、並べる散乱体の個数を多くすることが出来る。なお、散乱体の面と試料または記録媒体の面のなす角が0度より大きく、90度以下であるときは、近接場光が発生する頂点の頂角は0度にしても良い。なぜなら、近接場光が発生する頂点の頂角が0度のとき、近接場光が発生する頂点の他端側の曲率半径は近接場光が発生する頂点と同程度に小さくなりそこに強い近接場光が発生してしまうが、このように近接場光が発生する頂点の他端側が試料または記録媒体から離れていれば、その影響がないからである。

【0013】上記散乱体において、近接場光が発生する頂点の第一の接線と、それと平行な他端側の第二の接線の距離を L 、散乱体の誘電率の実数部を ϵ 、その周辺の材質の誘電率を ϵ_a 、散乱体の材質に依存する係数を P 、近接場光が発生する頂点の角度に依存する係数を A 、媒体または試料の誘電率に依存する係数を M としたとき、 $P \times (-2.5 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) + 30) < L < P \times (-20 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) + 50)$

または

$$10 \quad P \times (-70 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) - 850) < L < P \times (-90 \times (\epsilon/\epsilon_a + M + A) + 50)$$

が満たされるようにすると良い。これによりプラズモン共鳴を励起させることが出来、強い近接場光が発生させることが出来る。ここで、散乱体の材質に依存する係数 P は、例えばアルミを70%以上含む場合0.5、マグネシウムを70%以上含む場合0.8、金を70%以上含む場合1、銅を70%以上含む場合1、銀を70%以上含む場合1とする。また、媒体または試料の誘電率に依存する係数 M は、媒体または試料が存在しないときは0、媒体または試料が誘電体であるときは0、媒体または試料が金属や半導体であるとき5とする。角度に依存する係数 A は、近接場光の発生する頂点の頂角を Q としたとき、 $A = -0.05 \times Q + 3$ とする。なお、強い近接場光を発生させるためには、上記の近接場光が発生する頂点の頂角 Q は30度以上、80度以下にすると良い。

【0014】プラズモン共鳴が発生する波長は材料ごとに異なるので、散乱体の材料は使用する波長に合わせるのが良い。例えば、上記の長さ L がおよそ100nmであるとき、波長が300~500nmであればアルミやマグネシウム、波長が400~700nmであれば銀、波長が500~800nmであれば金や銅などを用いると良い。また、酸化が起こりにくく、加工が容易なものを選ぶと良く、銀と金では酸化が起きないため金の方が良く、アルミとマグネシウムでは成膜が容易なためアルミの方が良い。

【0015】上記散乱体(個数が単数および複数の場合)の厚さは、近接場光が発生する頂点に向かい小さくなるようにすると良い。これにより、散乱体の面と垂直な方向においても、近接場光が発生する点に向かい電荷が集まるため、近接場光強度を強くすることができる。

40 【0016】上記の近接場光が発生する頂点の方向に向かい幅が小さくなった膜状の散乱体近傍に、導電性を持つ第二の散乱体を形成し、第一の散乱体の近接場光が発生する頂点と第二の散乱体との最も近接した間隔が散乱体に入射する光の波長以下になるようにしても良い。これにより、各散乱体中の電荷が互いに相互作用し、各散乱体の間に強い近接場光が発生する。特に、第二の散乱体の形状も近接場光が発生する頂点の方向に向かい幅が小さくなった膜状の散乱体とすると、非常に強い近接場光を発生させることが出来る。このときの各散乱体の面積の総和は、散乱体の個数が1つの場合と同じ理由で、

散乱体に照射された光のスポット面積または散乱体に照射された光の波長の2乗以下、または前記複数の散乱体が存在する領域の幅のうち最も長い部分が、散乱体に照射された光のスポット径または散乱体に照射された光の波長以下にする。また光のスポット面積は前記複数の散乱体の面積の総和の100倍以下、または前記散乱体に照射された光のスポット径が前記複数の散乱体が存在する領域の幅のうち最も長い部分の10倍以下にすると良い。

【0017】また、前記散乱体は2つの同形状であり、一の散乱体の向きが、他の散乱体を、近接場光が発生する頂点を中心に90度または180度回転させた向きであると良い。

【0018】幅が小さくなる形状の散乱体を2つ、第二の散乱体の向きが、第一の散乱体を、近接場光が発生する頂点を中心に180度回転させた向きに配置し、第一および第二の散乱体の材質を等しくし、かつ近接場光が発生する頂点の第一の接線と、それと平行な他端側の第二の接線の距離Lを互いに等しくしたときは、散乱体の誘電率の実数部をe、その周辺の材質の誘電率を e_0 、散乱体の材質に依存する係数をP、近接場光が発生する頂点の角度に依存する係数をA、媒体または試料の誘電率に依存する係数をMとすると、

$$P \times (-2.5 \times (e/e_0 + M + A) - 20) < L < P \times (-20) \times (e/e_0 + M + A)$$

または

$$P \times (-70 \times (e/e_0 + M + A) - 900) < L < P \times (-90) \times (e/e_0 + M + A)$$

が満たされるようにすると良い。これによりプラズモン共鳴を励起させることが出来、強い近接場光が発生させることが出来る。ここで、散乱体の材質に依存する係数P、媒体または試料の誘電率に依存する係数M、角度に依存する係数Aは、散乱体が1つの場合と同じようにする。

【0019】第一の散乱体の近傍に形成する散乱体の個数は2つ以上であっても良い。それぞれの散乱体の向きを異なる方向に配置することにより、近接場光を発生させるのに許される偏光方向の数を増やすことが出来る。また、それぞれの散乱体のプラズモン共鳴周波数を異なるようにすることにより、近接場光を発生させるのに許される波長の範囲を広げることができる。

【0020】上記のように散乱体を2つ以上組み合わせる場合は、散乱体に入射する光の中心位置は、各散乱体の近接場光が発生する頂点までの距離の総和が一番小さくなる点に実質的に一致するようにすると良い。ここで実質的に一致とは、入射光の中心位置と頂点の距離が入射光の光スポットの半値全幅の1/2以内となることをいう。

【0021】前記の散乱体における試料もしくは記録媒体に近づく面と基板表面が実質的に同一平面上にあるように、散乱体が基板表面に埋め込まれるようにする

と、散乱体の磨耗を減らすことが出来る。ここで実質的に同一平面とは、段差が50nm以内であることをいう。または、光記録/再生等、プローブを高速に走査させる必要がある場合は、散乱体近傍にパッド部を形成し、前記散乱体の試料もしくは記録媒体に近づける面とパッド部表面が実質的に同一平面上にあるようにしても散乱体の磨耗を減らすことが出来る。ここでも実質的に同一平面とは、段差が50nm以内であることをいう。

【0022】前記散乱体の近傍に、遮光性のある膜を形成し、前記散乱体と前記遮光性のある膜の間隔が前記散乱体に入射する光の波長よりも小さくなるようにしても良い。このようにすることで、バックグランド光の発生を除去することができる。ここで、バックグランド光をなるべく小さくするために、前記遮光膜と前記散乱体が接合された部分を有するようにしても良い。このとき、遮光膜と散乱体が、近接場光が発生する頂点とそれと他端側の電荷が集まるエッジ部以外において接合されるようにする。また、遮光性を上げるため、遮光膜の厚さを厚くしたり、散乱体が試料に近づきやすくするため、散乱体の厚さを厚くしても良い。

【0023】バックグランド光の発生を除去するためには、散乱体が形成された第一の層の近傍に、遮光膜が形成された第二の層を形成しても良い。ここで、第一の層と第二の層の間隔が散乱体に入射する光の波長以下にし、第二の層の遮光膜の層に散乱体に入射する光の波長以下の開口を形成し、その開口の位置を前記散乱体の近接場光の発生する頂点の位置に実質的に一致させる。第二の層の開口を通過した光を検出することにより、バックグランド光の検出を低下させることが出来る。

【0024】上記の散乱体は、集光素子上の集光点に形成しても良い。これにより集光素子と散乱体の位置調整が不要になる。また、散乱体を光共振器の出射面からの近傍、即ち出射面から10 μ m以内に形成しても良い。このようにすれば、散乱体に当たらずに反射した光が共振器により戻され、再び散乱体に照射されるので、光利用効率を向上させることが出来る。また散乱体を半導体レーザーの出射面の近傍、即ち出射面から10 μ m以内に形成しても良い。これにより光源と散乱体の位置調整が不要になる。また、散乱体をフォトダイオードなどの光検出器の受光面近傍即ち受光面から10 μ m以内に形成しても良い。これにより光検出器と散乱体の位置調整が不要になり、またプローブと検出器の間で発生するエネルギーの損失を少なくすることが出来る。

【0025】散乱体は、円錐もしくは多角錐の突起の先端に形成された平坦な面上に形成しても良い。これにより試料もしくは記録媒体に近づく部分の面積が小さくなるので、プローブを試料もしくは記録媒体に近づけ易くなる。このとき、円錐もしくは多角錐の側面を金属または遮光性のある膜で覆い、散乱体が形成される平坦な面の面積が前記円錐または多角錐中を伝わる光の波長の2

乗以下、または散乱体が形成される平坦な面の幅の最小値が円錐または多角錐中を伝わる光の波長以下になるようにすると、円錐もしくは多角錐の突起により光を集光させることができるので、効率が向上する。

【0026】上記の散乱体は、多角錐の突起の側面に形成し、近接場光が発生する頂点の位置と多角錐の頂点の位置が実質的に一致するようにしても良い。例えば、四角錐の1面もしくは対向する2面上に頂点に向かい幅が小さくなる膜を形成する。このようにすれば、プローブの先端が尖っているので、凹凸のある試料の測定が可能になる。ここで、実質的に一致とは近接場光が発生する頂点と多角錐の頂点の距離が50nm以内であることをいう。

【0027】上記散乱体を用いたプローブは近接場光学顕微鏡に利用することが出来る。プローブを試料近傍（距離が数10nm以内）に置き、散乱体にレーザーからの光を照射する。プローブで発生した近接場光と試料の相互作用の結果生じた散乱光や発光を対物レンズで集光し、光検出器で検出する。このように、本発明のプローブを用いることにより、高分解能、高効率を両方満たす測定が可能になり、発光や非線形光などの微弱な光信号の空間分布の高分解能測定が可能になる。

【0028】上記散乱体を用いたプローブは、近接場光記録/再生装置にも利用することが出来る。散乱体と記録媒体の間隔が数10nm以下になるよう保ちながら、高速に走査させるために、散乱体をスライダ上に形成し、そこにレーザーからの光を入射させる。記録媒体に記録マークを形成するのに十分なパワーの光を入射させると、記録媒体に記録マークが形成される。再生は、散乱体に光を照射し近接場光を発生させ、近接場光と媒体の相互作用の結果生じる散乱光を、対物レンズで集光し光検出器で検出する。このとき、集光レンズにはプローブに光を導入するのに用いた対物レンズを用いても良いし、媒体をはさんでそれと反対側に設置した対物レンズを用いても良い。このように、本発明のプローブを用いて記録/再生を行うことにより、高記録密度、高転送速度を共に満たす記録/再生装置を実現することが可能になる。

【0029】上記散乱体を用いたプローブは、露光装置にも利用することが出来る。本発明のプローブを基板表面に形成したレジスト上に近づけ、そこに光を入射させると、プローブにより発生する近接場光によりレジストが露光される。このように本発明のプローブを用いれば、数10nm以下の寸法を持つパターンの露光を高速に行うことが出来る。

【0030】

【発明の実施の形態】以下本発明の具体的な実施の形態について説明する。

（実施例1）以下に、本発明の近接場光発生装置について説明する。

【0031】本発明の近接場光発生器は、図1に示すよ

うに、平面状基板13および幅が徐々に小さくなり、その先端12の曲率半径が入射光の波長以下となった導電性のある平面状の散乱体11から形成される。光源からの光14を、偏光方向が図中のx方向を向くように入射させると、散乱体11中の電荷が偏光方向と同一方向に振動し、頂点12に集中する。その結果、頂点12近傍に強い近接場光が発生する。

【0032】導電性のある散乱体の材質は、例えばSiやGaAsなどの半導体、金、銀、銅、アルミ、マグネシウムなどの金属にする。散乱体が形成される平面基板は、光透過性のあるもの（ここでは透過率が70%以上あるものと定義する）であると好ましい。なぜなら、散乱体を形成した面と反対側の面からも光を入射させることが出来るためである。例えば、散乱体を形成する基板の材質はSiO₂やサファイア、GaNなどにする。

【0033】上記の散乱体の寸法は、散乱体の面積が入射光の光スポットの面積（図2の点S₂）よりも小さくなるようにする（長さで言い換えると、頂点12と頂点12から一番離れた点との距離を光スポットの直径d₁よりも小さくするようにする）。これにより、頂点12に集中した電荷と反対の極性も持つ電荷が頂点12の他端側のエッジ16に集まる。すると頂点12に集まった電荷とエッジ16に集まった電荷が互いに引き合うよう相互作用し、電荷の振動が発生する。そして、入射光の振動数がこの電荷振動の共振周波数（プラズモン共鳴周波数）に一致するとき、非常に強い近接場光が頂点12に発生する。

【0034】ここで、散乱体の面積が入射光の波長の2乗（図2の点S₁）よりも小さくするようにする（長さで言い換えると、頂点12と頂点12から一番離れた点との距離を入射光の波長よりも小さくすると、さらに強い近接場光を発生させることができる。なぜなら、これにより散乱体中を振動する電子の位相が皆揃うため、頂点12により効率良く電荷が集中するからである。

【0035】なお、光スポット径が散乱体の面積より大きすぎると、効率が低下する。すなわち、散乱体に当たらなかった光は、近接場光の発生に寄与することがないので、その分近接場光の発生効率が低下する。例えば光記録/再生装置に応用する場合、記録密度が約1T/inch²のとき、データ転送速度は約1Gbps必要で、このとき1%以上の効率が要求される（M. Ohtsu ed., Near-field Nano/Atom Optics and Technology, Springer-Verlag, Tokyo, 1998, p209）。今、散乱体に当たった光のエネルギーのすべてが近接場光のエネルギーに変換されるとすると、1%以上の効率を実現するには、光スポットの面積は散乱体の面積の100倍以下である必要がある。これを長さで表現すると、スポット径は、散乱体の近接場光が発生する頂点とその頂点から最も遠い点の距離の10倍以下である必要がある。（散乱体に当たった光のエネルギーが近接場光のエネルギーに変換される過程で損失があれば、スポット径はさらに小さくする必要がある。）

上記の散乱体の形状は、曲率半径が入射光の波長より小さな頂点を持ち、その頂点に向かい幅が徐々に小さくなった膜状のものが好ましい。ただし、近接場光が発生する頂点以外の部分での曲率半径は近接場光が発生する頂点の曲率半径より大きくするのが好ましい。なぜなら、近接場光が発生する頂点以外の部分にも、近接場光が発生する頂点と同程度の曲率半径を持つ点が存在すると、そこにも近接場光が発生してしまうからである。

【0036】上記の散乱体の形状は、例えば、図3(a)のような扇型、図3(b)のような三角形（頂点31に強い近接場光が発生しないように、頂点31の曲率半径 r_2 は頂点12の曲率半径 r_1 より大きくするのが好ましい）、図3(c)のような三角形と頂点の曲率半径 r_1 より大きな曲率半径 r_3 を持つ円形の散乱体と組み合わせたもの、図3(d)のような4点以上の頂点を持つものにする。これら散乱体に、x方向に偏光した光を入射させると、頂点12に強い近接場光が発生する。図5に、Finite Difference Time Domain (FDTD) 法 (Journal of Optical Society of America A, Vol. 12, No. 9, p1974-1983, 1995, (和名) ジャーナルオブオプティカルソサエティオブアメリカA) を用いて求めた、扇型および三角形の形状をした散乱体近傍に発生する近接場光強度分布を示す。図5(a)が扇型、図5(b)が三角形の場合を示す。ここでは、散乱体の材質は金とし、散乱体は空気中に置かれているとした。頂点の曲率半径 r_1 は20nm、厚さは30nm、頂点12の頂角Qは60°、長さ L_1 は150nmとした。図5(b)の三角形の場合、頂点31の曲率半径31は30nmとした。光波長は図5(a)、(b)ともに650nmで、観測面は散乱体表面から10nm離れた位置とした。強度の値は、近接場光強度と入射光強度との比を表す。この図に示すように、頂点12に強い近接場光が発生することが分かる。

【0037】頂点の角度Qは図4(a)、(b)のように、多段階に変化させても良い。例えば図3(c)のような幅が徐々に小さくなる形状をした膜と円形の膜を組み合わせた形状の散乱体において、近接場光が発生する先端部12での頂角を小さくし、先端から離れた部分の角度を大きくして図4(a)のようにすれば、円の部分の曲率半径 r_3 を大きくすることが出来、近接場光が発生する頂点と他端側のエッジ部16に発生する近接場光強度を小さくすることが出来る。また逆に、図4(b)のように、近接場光が発生する先端部12での頂角を大きくし、先端から離れた部分の角度を小さくすれば近接場光が発生する頂点の他端側のエッジ部の長さ L_1 を小さくすることが出来る。これにより、後で述べるように、多数の散乱体を用いる場合、並べる散乱体の個数を多くすることが出来る。

【0038】頂点部12に発生する近接場光強度は、散乱体の誘電率（散乱体の材質および入射光の波長に依存する）、形状、寸法および散乱体周辺に置かれる物体の誘電率に依存する。なぜなら、それらのパラメーターにより、散乱体中に発生するプラズマ振動の状態が変化する

ためである。例えば、散乱体の形状が、図3に示すような形状であるとき、発生する近接場光強度は、散乱体の誘電率（すなわち散乱体の材質および入射光の波長）、散乱体周辺に置かれる物体の誘電率、頂点12における接線と、それと平行な他端側の接線間の距離 L_1 、頂点の角度Qに依存する。

【0039】まず、散乱体の長さ依存性について説明する。図3(a)のような扇型の形状をした散乱体において、長さ L_1 を100nmから600nmに変化させたとき、頂点12に発生する近接場光強度と波長の関係がどのように変化するか計算したものを図6(a)に示す。この関係は、FDTD法を用いて求めた。ここでは、散乱体の材質は銀、厚さは30nmとし、散乱体は空気中に置かれているとした。入射光の光スポット径は波長の3倍とし、頂点の曲率半径 r_1 は20nm、頂点の頂角Qは60°とした。縦軸の近接場光強度は、散乱体表面からの距離（図1中z）が2nmのときの値で、近接場光強度と入射光強度との比を表す。この図を、誘電率の分散関係を使って、近接場光強度と誘電率 Re （実数部）の関係に変換すると、図6(b)のようになる。このように、長さ L_1 が100nmのとき誘電率の実数部が-10付近であるとき、プラズモン共鳴が発生し、近接場光強度が最大となる。そして、長さ L_1 がこれよりも長くなるとピークの位置は、誘電率の小さい方へ移動する。また、長さ L_1 が長くなると共鳴の幅が広がる。これは長さが長くなると、散乱体各部での位相の乱れ（リターデーション）の影響が大きくなるためと考えられる。

【0040】ところで、近接場光の発生効率（入射光エネルギーと近接場光のエネルギーの比）は、集光レンズのNAや散乱体近傍の材料の屈折率、光の吸収率などに依存するが、プラズモン共鳴周波数付近でおよそ10~20%になると考えられる。このプローブを、例えば光記録/再生装置に応用する場合、記録密度が約1T/inch²のとき、データ転送速度は約1Gbps必要で、このときマーク再生には約1~2%程度の効率が要求される (M. Ohtsu ed., Near-field Nano/Atom Optics and Technology, Springer-Verlag, Tokyo, 1998, p209)。したがって、図6(b)において、強度がピーク強度の10%以上となる範囲が誘電率の最適値となる。また、マークを記録するにはそのさらに5倍程度の効率が必要で、5~10%程度の効率が要求される。このときは、図6(b)において、強度がピーク強度の50%以上となる範囲が誘電率の最適値となる。また、さらに次世代の10T/inch²程度の記録密度を実現するには、10Gbps以上のデータ転送速度が必要で、このときマークを再生するには約10%の効率が要求される。このときは、図6(b)において、強度がピーク強度の80%以上となる範囲が誘電率の最適値となる。

【0041】なお、図7(a)または(b)のように、散乱体周辺に誘電率の値が ϵ_0 である物体13を置いた場合、この最適な範囲は変化する。例えば、物体13がSiO₂（誘電率

$\epsilon_a = 2$) であるときの共鳴特性を図8に示す。このように共鳴を起こす誘電率は物体13を置かなかった場合の値の ϵ_a 倍となる。

【0042】以上の誘電率の最適範囲をまとめて図示すると図9のようになる。ここで、最適な領域の境界は直線で近似した。この最適範囲を式で表すと次のようになる(長さの最適範囲として表した)。

(1) 近接場光強度がピーク強度の10%となるとき

$$(-2.5 \times (e/\epsilon_a) + 30) < L_1 < (-20 \times (e/\epsilon_a) + 50)$$

(2) 近接場光強度がピーク強度の50%となるとき

$$(-3 \times (e/\epsilon_a) + 30) < L_1 < (-12.5 \times (e/\epsilon_a) + 50)$$

(3) 近接場光強度がピーク強度の80%となるとき

$$(-3.5 \times (e/\epsilon_a) + 30) < L_1 < (-9 \times (e/\epsilon_a) + 50)$$

なお、図6(b)に示すように、長さが400nm以上となるとき、第2の共鳴点が誘電率の大きな領域に発生する。例えば長さが400nmのとき、誘電率が約-10となる位置にピークが存在する。効率が1~2%程度で十分な場合は、この共鳴点を用いても良い。すなわち、つぎの範囲に長さ L_1 を設定しても良い。

$$(-70 \times (e/\epsilon_a) - 850) < L_1 < (-90 \times (e/\epsilon_a) + 50)$$

つぎに、頂点12の頂角依存性について説明する。図10に、図3(a)のような扇型の散乱体において、頂点12の角度 Q を20度から50度に変化させたとき、近接場光強度と誘電率の関係がどのように変化するか、FDTD法を用いて計算した結果を示す。散乱体の材質は銀、厚さは30nmとし、頂点の曲率半径 r_1 は20nm、長さ L_1 は150nmと仮定した。入射光の光スポット径は波長の3倍とした。縦軸の近接場光強度は、散乱体からの距離 z が2nmのときの値で、近接場光強度と入射光強度との比を表す。この図に示すように、角度を小さくすると、最適な誘電率はわずかに大きくなる。この角度依存性を考慮すると、上記の長さ L_1 の最適値はつぎのようになる。

(1) 近接場光強度がピーク強度の10%となるとき

$$(-2.5 \times (e/\epsilon_a + A) + 30) < L_1 < (-20 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

(2) 近接場光強度がピーク強度の50%となるとき

$$(-3 \times (e/\epsilon_a + A) + 30) < L_1 < (-12.5 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

(3) 近接場光強度がピーク強度の80%となるとき

$$(-3.5 \times (e/\epsilon_a + A) + 30) < L_1 < (-9 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

(4) 第2の共振点を利用するとき

$$(-70 \times (e/\epsilon_a + A) - 850) < L_1 < (-90 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

ここで、 A は角度に依存する係数で、頂点12の頂角 Q とつぎの関係にある。

$$A = -0.05 \times Q + 3$$

ところで、近接場光強度は、頂点12の頂角 Q が80度以上になると低下する。上に述べたような、10%以上の高い効率が要求される場合は、角度を80度以下にするのが好ましい。ただし、角度が小さすぎると、頂点12と他端側のエッジ16における近接場光強度も強くなってしまう。エッジ16における強度が頂点12における強度の1/2以下になるようにするには、角度を30度以上にするのが好ま

しい。

【0043】上記の計算結果は、散乱体の材質を銀とした場合であるが、この材質を他の金属に替えると上記の関係は異なってくる。図11(a)に金属をアルミ、金、銀、マグネシウムにした場合の波長と近接場光強度の関係を示す。ここでは、散乱体の厚さは30nmとし、近接場光が発生する頂点の曲率半径 r_1 は20nm、頂角は60度、長さ L_1 は100nmとした。これを、誘電率の実数部と近接場光強度の関係に変換すると、図11(b)のようになる。このように、近接場光が最大となる誘電率の値は材料ごとに異なっている。これは、各材料ごとに波長と誘電率の関係(分散関係)が異なっていることによると考えられる。すなわち、誘電率の値が同じであっても、それを与える波長は材料により異なる。例えば、誘電率が-15となる波長は、銀が約700nmであるのに対し、アルミは350nmとなる。プラズモン共鳴は長さ L_1 と波長の比が小さくなると、リターデーションの影響を受け特性が変化するが、このように例え誘電率が同じでもそのときの波長が異なるとリターデーションの受けやすさが異なるため、プラズモンの共鳴特性は異なってくると考えられる。

【0044】上記の材質による特性の違いは、近似的に、最適値に補正係数をかけることにより補正できる。すなわち、長さ L_1 の最適値はつぎのように表される。

(1) 近接場光強度がピーク強度の10%となるとき

$$P \times (-2.5 \times (e/\epsilon_a + A) + 30) < L_1 < P \times (-20 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

(2) 近接場光強度がピーク強度の50%となるとき

$$P \times (-3 \times (e/\epsilon_a + A) + 30) < L_1 < P \times (-12.5 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

(3) 近接場光強度がピーク強度の80%となるとき

$$P \times (-3.5 \times (e/\epsilon_a + A) + 30) < L_1 < P \times (-9 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

(4) 第2の共振点を利用するとき

$$P \times (-70 \times (e/\epsilon_a + A) - 850) < L_1 < P \times (-90 \times (e/\epsilon_a + A) + 50)$$

ここで、 P は散乱体の材質に依存する係数で、例えばアルミを70%以上含む場合0.5、マグネシウムを70%以上含む場合0.8、金を70%以上含む場合1、銅を70%以上含む場合1、銀を70%以上含む場合1となる。

(実施例2) 次に、散乱体の位置について、説明する。

【0045】上記のプローブを試料、もしくは記録媒体(例えばTeFeCoなどの光磁気媒体、GeSbTeなどの相変化媒体)に近づける場合、プローブの近接場光と試料もしくは媒体との相互作用が大きいため、共振の位置が変化する。例として、図12(a)のように基板13に埋め込まれた散乱体11を、TeFeCoまたはGeSbTeまたはSiO₂の基板に近づけた場合と近づけない場合の共振特性を図12(b)に示す。この計算では、散乱体の形状は扇型とし長さ L_1 を150nm、頂点の曲率半径 r_1 は20nm、厚さは30nm、基板13の材質はSiO₂、プローブと媒体の距離 s_2 は10nmとした。

このように、近づける媒体が金属や半導体の場合、近接場光強度が最大となる誘電率がマイナス側にシフトする。したがって、この時の長さ L_1 の最適値は次のように表される。

(1) 近接場光強度がピーク強度の10%となるとき
 $P \times (-2.5 \times (e/e_a + A + M) + 30) < L_1 < P \times (-20 \times (e/e_a + A + M) + 50)$

(2) 近接場光強度がピーク強度の50%となるとき
 $P \times (-3 \times (e/e_a + A + M) + 30) < L_1 < P \times (-12.5 \times (e/e_a + A + M) + 50)$

(3) 近接場光強度がピーク強度の80%となるとき
 $P \times (-3.5 \times (e/e_a + A + M) + 30) < L_1 < P \times (-9 \times (e/e_a + A + M) + 50)$

(4) 第2の共振点を利用するとき
 $P \times (-70 \times (e/e_a + A + M) - 850) < L_1 < P \times (-90 \times (e/e_a + A + M) + 50)$

ここでMは試料または媒体の材質により決まるシフト量で、近づける物体がない場合0、近づける物体が誘電体の場合0、金属や半導体の場合5となる。ここで、誘電体とは電気伝導率が $10^{-7} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 以下であるものをいう。

【0046】以上の最適条件は形状が扇型の場合であるが、図3(b), (c), (d)に示すような他の形状にしてもほぼ同じであった。

【0047】上記の散乱体へ入射させる光の中心位置は、散乱体上での光強度が最大となるように、図1のように散乱体の中心に実質的に一致させる。もしくは、近接場光強度の最大となる位置と入射光の中心位置を一致させるために、図13のように入射光の中心位置を近接場光が発生する頂点12に実質的に一致させても良い。

(実施例3) 次に、散乱体を2つ以上設ける場合について説明する。

【0048】近接場光強度をさらに強くするために、上記散乱体の近接場光が発生する頂点近傍に導電性のある第二の散乱体を形成しても良い。ここで、第一の散乱体の近接場光が発生する頂点ともうひとつの散乱体の間隔を光波長より小さくすると、それぞれの散乱体が発生する電荷が互いに相互作用することにより、2つの散乱体の間に強い近接場光が発生する。ここで、強い近接場光を発生させるには、図14(a)に示すように、もう一つの散乱体も、図3や図4のような幅が徐々に小さくなる膜状の散乱体にとすると良い。図15に、同一の形状をした散乱体を2つ組み合わせたときの散乱体表面から5nm離れた位置での近接場光強度分布を示す。ここでは、散乱体の形状は扇型とし、散乱体の材質は金、長さ $L_1 = L_2 = 100 \text{ nm}$ 、頂角 $Q_1 = Q_2 = 60^\circ$ 、先端曲率半径 r_1, r_2 を20nm、頂点どうしの間隔 G_1 を8nm、入射光の波長780nmとした。このように、2つの散乱体を組み合わせることにより、2つの頂点間に強い近接場光が発生する。図16に上記の形状をした散乱体に対する、近接場光強度と波長の関係を示

す。このように、2つの散乱体の頂点12に集まる電荷が相互作用する結果、散乱体の一つのときに比べて近接場光強度が強くなる誘電率がマイナス側にシフトする。このときの長さ $L_1 (=L_2)$ の最適値は、次の式で表される。

(1) 近接場光強度がピーク強度の10%となるとき
 $P \times (-2.5 \times (e/e_a + M + A) - 20) < L_1 < P \times (-20 \times (e/e_a + M + A))$

(2) 近接場光強度がピーク強度の50%となるとき
 $P \times (-3 \times (e/e_a + M + A) - 20) < L_1 < P \times (-12.5 \times (e/e_a + M + A))$

(3) 近接場光強度がピーク強度の80%となるとき
 $P \times (-3.5 \times (e/e_a + M + A) - 20) < L_1 < P \times (-9 \times (e/e_a + M + A))$

(4) 第2の共振点を利用するとき
 $P \times (-70 \times (e/e_a + M + A) - 900) < L_1 < P \times (-90 \times (e/e_a + M + A))$

ここでPは散乱体の材質に依存する係数、Aは近接場光が発生する頂点の頂角に依存する係数、Mは媒体に依存する係数を表し、それぞれ散乱体が1つのときと同じ値である。

【0049】2つの散乱体を組み合わせる場合、波長の異なる2つのレーザーに対応させるために、それぞれの散乱体のプラズモン共鳴周波数（それぞれの散乱体が単独で存在するときの共鳴周波数）が異なるようにしてもよい。例えば、図14(b)のように、長さ L_1 と L_2 、または頂角 Q_1 と Q_2 を違う値にする。このようにすれば、それぞれの散乱体がかつとも違う共振特性をもつため、共鳴点が2つになるか、もしくは共鳴点が1つで、共鳴波長の幅が広がる（最適な誘電率の幅が広がる）。

【0050】散乱体が1つの場合、入射光の偏光方向は1つの方向に限られるが、図14(c)のように2つの散乱体を向きが互いに直交するように配置すれば、入射光の偏光方向として直交する2つの方向が許されるようになる。このとき、それぞれの散乱体のプラズモン共鳴周波数が同じになるようにする（長さ L_1, L_2 、および角度 Q_1, Q_2 を等しくする）。また、それぞれの散乱体の頂点先端部の位置は、偏光を変えたときによるスポット位置のずれを小さくするために、なるべく近い方が好ましい。本実施例では、間隔 G_2 を10nmとした。なお、それぞれの散乱体のプラズモン共鳴周波数が異なるようにする（例えば長さ L_1, L_2 、または角度 Q_1, Q_2 を異なる値にする）場合は、偏光方向ごとに入射光の波長を変える。

【0051】図3や図4のような頂点に向かい幅が小さくなった形状をした散乱体は図17のように3つ以上（図17の例では4つ）組み合わせても良い。このとき、それぞれの散乱体のプラズモン共鳴周波数が異なるようにする（例えば、長さ L_1, L_2, L_3, L_4 または角度 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 を異なる値にする）と、入射光の波長としていくつかの異なる値が許される。それぞれの散乱体における近接場光の発生する頂点の位置は、波長によるスポット

位置のずれを小さくするために、互いに近い方が好ましい。本実施例では、互いの間隔を10nmとした。

【0052】上記の散乱体を2つ以上組み合わせる場合は、図18のように、光スポットの中心位置は、それぞれの頂点からの距離の総和が最小になる点に実質的に一致させるのが良い。

【0053】上記のように、近接場光が発生する頂点に向かい幅が徐々に小さくなる散乱体を2つ以上組み合わせる場合は、それぞれの散乱体の面積の総和を光スポットの面積より小さくする（長さで表現すると、散乱体が存在する領域の幅のうち最も長い部分 L_s を、光スポット径 d_s よりも小さくする）。また、散乱体に入射する光の位相をそろえるためには、それぞれの散乱体の面積の総和を入射光の波長の2乗より小さくする（長さで表現すると、散乱体が存在する領域の幅のうち最も長い部分 L_s を、入射光の波長よりも小さくする）。

【0054】散乱体が1つの場合と同様、散乱体を2つ以上組み合わせる場合も、光スポット径が散乱体の面積より大きすぎると、効率が低下する。例えば、光記録/再生装置に应用する場合、散乱体が1つの場合と同様の理由により、少なくとも光スポットの面積はそれぞれの散乱体の面積の総和の100倍以下である必要がある（長さで表現すると、スポット径は、散乱体が存在する領域の幅のうち最も長い部分の10倍以下である必要がある）。

【0055】散乱体は、1つ、あるいは2つ以上であった場合でも、図7(a)のように、平面基板上に飛び出るように形成しても良いし、図7(b)のように平面基板表面に埋め込まれるように形成しても良い。特に、光記録/再生等、プローブを高速に走査させる必要がある場合は、散乱体の磨耗を防ぐため、図7(b)のように埋め込むように形成した方が良い。また、散乱体の磨耗を防ぐため、図19のように、散乱体の周辺に、パッド161を形成しても良い。このとき、散乱体表面とパッド表面が実質的に同じ平面上にあるようにパッドの高さ h_1 を設定すると良い。なお、パッド161は基板13と同じ材料も良いが、基板とは別の材料で形成してもよい。

【0056】散乱体が1つ、あるいは2つ以上であった場合でも、散乱体の厚さは、図20のように、場所により異なっても良い。特に、頂点部12に近づくにつれて厚さ t_2 が徐々に小さくなるようにすると、散乱体の面と垂直方向においても、電荷の集中が起こり、頂点12にさらに効率よく電荷が集まり、より強い近接場光を発生させることができる。

（実施例4）ところで、試料の形状や記録媒体上に形成された記録マークの有無等を検出するために、プローブを透過した光のパワーを検出する場合、散乱体に当たらなかった光は、そのまま検出器で検出されてしまう。この光はバックグランド光として働き、検出のS/N比の低下を招く。これを防ぐために、図21(a)のように、散乱

体の近傍に遮光性のある膜182を形成すると好ましい。

ここで、遮光性のある膜とは透過率が50%以下である膜と定義する。この遮光性のある膜には、例えば金や銀などの金属、SiやGaAsなどの半導体、カーボンなどの誘電体などを用いる。散乱体と遮光性のある膜の間隔 W_1 を光波長以下（本実施例では50nmとした）にすることにより、バックグランド光の発生を抑制することができる。なお、遮光膜として光吸収性のある膜（透過率同様、反射率も低い膜。ここでは透過率および反射率が50%以下の膜と定義する）を利用する場合、プローブの透過光を検出する方式（Illumination mode）だけでなく、光源側に戻ってくる光を検出する方式（Illumination-Collection mode）の装置においても、バックグランド光を抑制することが可能である。

【0057】遮光性のある膜182は、図21(b)のように、頂点部12とその他端側のエッジ部16（頂点12に集まる電極と反対の極性をもつ電荷が集まる部分）以外で、散乱体11と接合させても良い。また、遮光膜に導電性がないものであれば、図21(c)のように、散乱体12と遮光膜182が完全に接するように配置しても良い。また、遮光性のある膜182の材質を、散乱体11の材質と同じにしても良い。例えば、図22(a)のように、導電性のある遮光膜182中に幅 W_1 が光波長以下であるV字型の開口191（頂点12に相当）と直線状の開口192（頂点の他端側のエッジ部16に相当）、もしくは図22(b)のように、曲線状の開口193を形成する。2つの開口の間隔は、頂点12からその他端側のエッジ16までの距離 L_1 が、上記のプラズモン共鳴条件に合うようにする。曲線状の開口193の曲率半径 r_1 は、頂点12の曲率半径 r_2 より大きくなるようにする。

【0058】図23(a)のように、上記の遮光膜182の厚さ t_2 を散乱体11の厚さ t_1 に等しくすると、遮光膜が試料もしくは記録媒体と衝突し、破損することを防ぐことができる。また図23(b)のように、 $t_2 > t_1$ となるように、遮光膜を厚くしても良い。本実施例では t_1 を30nm、 t_2 を100nmとした。このようにすることにより、遮光膜の遮光性を向上させることが可能で、バックグランド光をより良く抑えることができる。また、図23(c)のように、 $t_2 < t_1$ となるように、散乱体を厚くしても良い。本実施例では、 t_1 を100nm、 t_2 を50nmとした。このようにすることにより、散乱体が試料に近づきやすくなり、凹凸のある試料の測定が容易になる。

【0059】バックグランド光の発生を抑えるためには、図24のように散乱体と遮光用の膜を別の層に形成しても良い。すなわち、開口径 d_2 が散乱体に入射する光の波長以下の開口212を持つ遮光膜211を散乱体11から距離 s_1 離れた位置に形成する。開口212の中心位置は、近接場光が発生する頂点の位置と実質的に同じになるようにし、光を214の方向に入射させたとき、頂点部で発生する散乱光のみが開口を透過するようにする。透過した光213はプローブの上部で検出する。遮光膜の材質は、例

例えば金、銀、アルミなどの金属、SiやGaAsなどの半導体、カーボンなどの誘電体などにする。本実施例では開口径 d_2 は70nmとした。距離 s_1 は0以上、光波長以下になるようにする。この値は、バックグランド光の量を小さくするにはなるべく小さい方が好ましい。本実施例では $s_1=5\text{nm}$ とした。ここで、図25に示すように、フォトダイオードなどの検出器221を基板内に形成しても良い。入射光214を入射させたとき、開口212を通過する光を直接検出器で検出できるように、検出器221を遮光膜211上部に形成する。このようにすれば、開口212に対する検出器221の位置合わせが不要になる。

(実施例5) 次に、プローブの作製方法について説明する。

【0060】まず、図26(a)のように、犠牲基板231上に、散乱体11を電子線リソグラフィ等を用いて作製する(散乱体作製工程)。つぎにその上に図26(b)のように、光透過性のある材料(例えば、 SiO_2 やアルミナなどの誘電体)の層232を薄く形成し(光透過性膜形成工程)、図26(c)のように、その上にレジスト層を形成する(レジスト膜形成工程)。これに図26(d)のように、234の方向から光を照射させると、頂点12に強い近接場光が発生するので、その近接場光により、頂点12近傍のレジストが感光される(露光工程)。レジストがネガ型である場合、これを現像すると、図26(e)のように頂点12にレジストが残る(現像工程)。この上に遮光膜211を真空蒸着などにより形成した後、レジストを除去すると図26(f)のように、頂点部12に開口が形成された遮光膜211が形成される(遮光膜形成工程)。つぎに、図26(g)のように、遮光膜の上に光透過性のある基板235を貼り合わせるか、光透過性のある材料(例えば、 SiO_2 やアルミナなどの誘電体)の層を厚く形成し(透明基板形成工程)、最後に犠牲基板231を除去すると(犠牲基板除去工程)、図26(h)のように開口を持つ遮光膜を持ったプローブが作製される。

【0061】上記の作製工程で、もし遮光膜が導電性のないものであれば、光透過性膜形成工程を省き、遮光膜211を散乱体11上に直接形成しても良い。また、レジスト膜自体に遮光性があるならば、レジスト膜を遮光膜211とし、感光された部分を開口212として利用しても良い。ただし、この場合レジストには、感光された部分が除去されるポジ型を使う。

(実施例6) 次に、散乱体の設置場所について説明する。

【0062】前記の散乱体は、図27(a)や(b)に示すように、散乱体の面が試料または媒体面に対して0度より大きく、90度以下になるように配置しても良い。このとき、頂点12は、試料または媒体に一番近くなるように配置する。光は矢印253のように基板を通して、斜めに入射させても良いし、基板の外側から斜めに入射させても良い。また、散乱体を斜めに配置する場合は、基板と垂

直方向(矢印254)に光を入射させることができる。上記のように、試料または媒体に対して散乱体を垂直または斜めに配置する場合、頂点12と他端側のエッジ16は試料または媒体表面から離れている。したがってエッジ16にも強い近接場光が発生しても良く、エッジ16の曲率半径は頂点12と同程度に小さくても良い。すなわち、頂点12の頂角 Q は0に近くても良い。極端な場合、図27(c)のように、散乱体の形状は線状であっても良い(長さ L_1 は、プラズモンの共鳴波長に合わせる)。上記の垂直または斜めに配置された散乱体は、基板側面の表面上でなく、基板中に埋め込まれるように形成しても良い。

【0063】前記の散乱体は、集光素子上に形成しても良い。例えば散乱体11を、図28(a)に示すようなSolid Immersion Lens 261や、図28(b)に示すようなフレネルレンズ263のついた基板13の上に形成する。このとき散乱体は光の集光点に形成する。このようにすれば、集光素子と散乱体の位置調整が不要になる。また、散乱体を光共振器の出射面の近傍、即ち出射面から $10\mu\text{m}$ 以内に形成しても良い。例えば、図28(c)に示すように、光を共振させるための反射膜264を基板に形成し、その反射層264上に開口を形成し、その開口中に散乱体11を形成する。このとき、バックグランド光の発生を抑制するために、散乱体と反射膜の間隔 w_2 は光波長以下にするのが好ましい。本実施例では、 w_2 を50nmとした。このように共振器の出射面近傍に形成すれば、散乱体に当たらずに反射した光が共振器により戻され、再び散乱体に照射されるので、光利用効率を向上させることが出来る。また、散乱体は半導体レーザーの出射面の近傍、即ち出射面から $10\mu\text{m}$ 以内に形成しても良い。例えば、図28(d)に示すように、散乱体11を面発光レーザーの出射面近傍に形成する。このとき、バックグランド光を抑制するために、レーザーの出射面上に反射膜を形成し、そこに開口を形成し、その中に散乱体を形成すると良い。この時、散乱体と反射膜の間隔 w_2 は光波長以下にするのが好ましい。本実施例では、 w_2 を50nmとした。このように半導体レーザーの出射面に形成することにより、光源と散乱体の位置調整が不要になる。また、散乱体はフォトダイオードなどの光検出器の受光面近傍、即ち受光面から $10\mu\text{m}$ 以内に形成しても良い。これにより、検出器と散乱体の位置位置調整が不要になる。

【0064】前記の散乱体は、図29(a)に示すように、円錐もしくは多角錐272の突起先端に形成された平坦な部分271に形成しても良い。このとき、平坦な部分の幅の最小値 L_6 は、散乱体が試料に近づきやすくするために、できるだけ小さくするのが好ましい。また、図29(b)に示すように、円錐もしくは多角錐の側面を金属で覆えば、円錐もしくは多角錐の突起が光導波路の働きをし、光を散乱体11のある部分に集光させる働きをする。

【0065】この場合、先端の平坦な部分の幅の最小値 L_6 は突起中を伝搬する光の波長以下(面積で表現すると

先端の平坦な部分の面積が突起中を伝搬する光の波長の2乗以下)になるようにすれば、散乱体周辺から発生するバックグランド光の発生も抑制することができる。ただし、平坦な部分の幅 L_0 を突起中を伝搬する光の波長の1/2以下にすると、先端から出射する光量が減るため(導波路の径が光波長の1/2以下になると光の伝搬モードが存在しないため)、平坦な部分の幅 L_0 は突起中を伝搬する光の波長の1/2以上(面積で表現すると先端の平坦な部分の面積が突起中を伝搬する光の波長の1/2を2乗した値以上)にした方がよい。本実施例では、 SiO_2 の四角錐の突起の側面を厚さ100nmの金で覆い、先端の幅 L_0 は250nmとした。

【0066】前記の散乱体は、多角錐の突起の側面に形成しても良い。例えば、図30(a)に示すように、散乱体11を四角錐の突起側面に形成する。光は四角錐の内側(矢印283)もしくは外側(矢印282)から入射させ、偏光方向は284の方向にする。長さ L_1 は、プラズモン共鳴波長に合わせる。また、散乱体を図30(b)に示すように、四角錐の形状をした基板281の2つの側面に形成しても良い。このとき2つの面に形成された散乱体の間に、間隔 G_0 が入射光の波長以下(本実施例では10 nmとした)の隙間を形成する。

【0067】前記の先端もしくは側面に散乱体が形成された円錐もしくは多角錐の突起は、原子間力顕微鏡のカンチレバの先端に形成しても良い。

(実施例7) 図31に、上記の近接場光プローブを近接場光学顕微鏡に応用した例を示す。ここでは、散乱体を原子間力顕微鏡のカンチレバの先端に形成したプローブを用いた例を示す。試料910は基板911の上に置き、その表面に、上記の近接場光プローブ901を近づける。レーザー906から出射した光はレンズ916によりコリメートされ、ビームスプリッタ905を通過後、対物レンズ904に入射する。光は対物レンズにより集光され金属の微小構造部で収束する。プローブで発生した発光は、対物レンズ904により集光され、検出器907で検出されるか、もしくは試料の反対側に置かれた対物レンズ912により集光され、検出器913で検出される。試料をピエゾ素子908を使い水平方向に走査させると、試料により検出される発光強度が変化し、その変化を記録することにより、試料の像を得ることができる。ここで、試料からの信号の偏光方向が、入射光の偏光方向と異なっている場合、偏光子917、918を光路中に起き(レーザーが直線偏光の場合偏光子918のみで良い)、偏光子918の偏光方向が入射光の偏光方向に対し直角になるようにすると、コントラストを向上させることができる。

【0068】プローブ先端と試料表面の間隔は近接場光のしめだし深さである数10 nm以内にすることがあるが、その間隔はプローブ先端と試料表面の間に働く原子間力を測定することにより制御する。すなわちプローブを数nm以内の振幅でピエゾ909を使い縦方向に振動さ

せ、その振幅が一定になるようにプローブ先端と試料表面の間隔を制御する。振幅の変化の測定は、レーザー906から出射した光とは別の光をカンチレバの上面902に当て、そこからの反射光をPSD(Position Sensing Detector)で検出することにより行う。振幅の変化の測定は、レーザー906から出射した光のうち、カンチレバの上面902で反射したものを、PSD 914で検出することにより行っても良い。

(実施例8) 上記近接場プローブの光記録/再生装置への応用例を図32に示す。散乱体はスライダ702上に形成され、対物レンズ、光源、検出器等を搭載した光ヘッド703上に搭載される。このスライダをディスク701に近づける。光ヘッドはキャリッジアクチュエーター704を用いて、ディスクの半径方向に動かされる。光ヘッド内部の光学系は図32(b)のように構成する。光源には半導体レーザー708を用い(本実施例では波長780nm、出力30mWの半導体レーザーを用いた)、出射光をコリメーターレンズ709、ビーム整形プリズム710を用いて円形の平行ビームにする。このビームはビームスプリッタ712、ミラー714、対物レンズ707を通過後、近接場光プローブ702に入射する。対物レンズの位置はアクチュエーター706を用いて調整される。また、トラッキングのため近接場光プローブの位置を微調整するためには、圧電素子711を用いる。プローブ702はサスペンション705に取り付けられていて、このサスペンションの力によりディスク701に押し付けられる。本実施例では光ディスク701には相変化媒体を用い、記録マークは、近接場プローブにより発生した近接場光により結晶相をアモルファス相に変化させることにより形成した。再生は、ディスクから戻ってくる光の強度変化を検出することにより行う。すなわち、近接場光がディスクにより散乱される割合が、記録マークの有無により変化するので、その散乱光の強度変化を検出することにより行う。実際には、ディスクからの光(信号光)をビームスプリッタ712により入射光と分離し、集光レンズ715を通過させた後、検出器717で検出する。ここで、ディスクからの信号光の偏光方向が、入射光の偏光方向と異なっている場合、偏光子716を光路中に起き、偏光子716の偏光方向が入射光の偏光方向に対し直角になるようにすると、コントラストを向上させることができる。

(実施例9) 上記近接場プローブは、光リソグラフィ用の露光装置へ応用することも可能である。図33(a)、(b)にその応用例を示す。加工する基板322上にフォトレジスト321を塗布し、そこに幅が徐々に小さくなる散乱体11を有するプローブを近づける。ここにフォトレジストを感光させる光を入射させると頂点部12に局在する強い近接場光が発生し、その部分のフォトレジストが感光される。露光後は、フォトレジストを現像し、エッチング等の加工を基板322に施す。ここで、入射光の波長は、レジストが感光し、かつプラズモン共鳴が励起される波

長にすると好ましい。本実施例では、散乱体11の材質をアルミにし、波長442nmの光を入射させた。本発明のプロブを用いることにより、光波長以下の微細な散乱体を、非常に低パワーの光で露光させることが可能で、またプロブをレジスト上で高速に走査させることも可能なので露光時間の低減化も可能である。

【0069】

【発明の効果】幅が徐々に小さくなった平面状の散乱体を用いた近接場光発生器において、散乱体の材料および形状および寸法の最適値が与えられ、その最適値に基づ

けば、近接場光を効率良く発生させることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の近接場光発生器の形状を示す断面図。

【図2】散乱体の面積と近接場光強度の関係を表す図。

【図3】散乱体の形状を示す図で、(a)扇型、(b)三角形、(c)三角形と円を組み合わせたもの、(d)4点以上の頂点を持つもの。

【図4】頂角が多段階に変化したもの散乱体を示す図で、(a)先端の角度が小さくなったもの、(b)先端の角度が大きくなったもの。

【図5】散乱体近傍の近接場光強度分布を示す図で、(a)形状が三角形のときの分布、(b)形状が扇型のときの分布。

【図6】散乱体の長さとの関係を示す図で、(a)各長さごとの波長と近接場光強度の関係を示す図、(b)各長さごとの誘電率と近接場光強度の関係を示す図。

【図7】散乱体近傍の基板の配置方法を示す図で、

(a)基板表面に形成されたとき、(b)基板に埋め込まれたとき。

【図8】散乱体近傍にSiO₂の基板が配置された時の共鳴特性を示す図。

【図9】散乱体および散乱体近傍の基板の誘電率と最適な長さの関係を示す図。

【図10】近接場光が発生する頂点の頂角と共鳴特性の関係を示す図

【図11】散乱体の材質が金、銀、銅、アルミ、マグネシウムであるときの共鳴特性を表す図で、(a)波長と近接場光強度の関係を示す図、(b)誘電率と近接場光強度の関係を示す図。

【図12】散乱体近傍に媒体または試料が配置された時の共鳴特性を示す図で、(a)媒体の配置方法、(b)媒体がないとき、および試料または媒体がSiO₂、TeFeCo、GeSbTeであるときの共鳴特性。

【図13】光の入射方法を示す図。

【図14】幅が徐々に小さくなる散乱体を2つ組み合わせたときの散乱体の配置方法を示す図で、(a)散乱体が対向するように配置され、散乱体の寸法が互いに等しい場合、(b)散乱体が対向するように配置され、散乱体

の寸法が互いに異なる場合、(c)散乱体の向きが互いに直角になるように配置された時。

【図15】扇型の形状をした散乱体を2つ組み合わせたときの、散乱体近傍の近接場光強度分布を示す図。

【図16】扇型の形状をした散乱体を2つ組み合わせたときの共鳴特性。

【図17】幅が徐々に小さくなる散乱体を2つ以上組み合わせたときの散乱体の配置方法を示す図。

【図18】幅が徐々に小さくなる散乱体を2つ以上組み合わせたときの散乱体への光の入射方法を示す図。

【図19】散乱体近傍にパッドが形成されたプロブを示す図。

【図20】散乱体の厚さが、近接場光の発生する頂点に向かい小さくなったもの示す図。

【図21】散乱体近傍に遮光膜が形成されたプロブを示す図で、(a)散乱体と遮光膜の間に間隔がある場合、(b)散乱体と遮光膜が一部においてつながっている場合、(c)散乱体と遮光膜が全面においてつながっている場合。

【図22】散乱体と遮光膜が同一材料の場合で、近接場光が発生する頂点部にV字の開口が空けられ、それと他端側に(a)直線状、(b)曲線状の開口が形成された場合。

【図23】散乱体と遮光膜の厚さの関係を示す図で、(a)散乱体と遮光膜の厚さが実質的に等しい場合、(b)遮光膜の厚さが散乱体の厚さより厚い場合、(c)遮光膜の厚さが散乱体の厚さより薄い場合。

【図24】散乱体の置かれた層近傍に、開口を持つ遮光膜の層が形成されたプロブを示す図で、(a)斜視図、(b)側面図。

【図25】散乱体の置かれた層近傍に、開口を持つ遮光膜の層が形成され、その近傍に光検出器が形成されたプロブを示す図

【図26】散乱体の置かれた層近傍に、開口を持つ遮光膜の層が形成されたプロブの作製方法を示す図で、(a)パターン作製工程、(b)光透過性膜作形成工程、(c)レジスト膜形成工程、(d)露光工程、(e)現像工程、(f)遮光膜形成工程、(g)透明基板形成工程、(h)犠牲基板除去工程。

【図27】散乱体の面と試料または媒体面のなす角が0度より大きく、90度以下である時のプロブの斜視図で、(a)散乱体が垂直に配置された時、(b)散乱体が斜めに配置された時、(c)近接場光が発生する頂点の頂角が0度であるとき。

【図28】散乱体が集光素子または共振器または半導体レーザーの端面に形成されたもの示す図で、(a)Solid Immersion Lens、(b)フレネルレンズ、(c)共振器、(d)面発光レーザーの端面に形成されたもの。

【図29】散乱体が円錐または多角錐の突起の頂点に形成された平坦な部分に形成されたプロブを示す図で、(a)側面が遮光膜で覆われていないもの、(b)側面が遮光

膜で覆われたもの。

【図 30】散乱体が四角錐の側面に形成されたものを示す図で、(a)散乱体が 1 つの場合、(b)散乱体が 2 つの場合。

【図 31】本発明のプロープの近接場光学顕微鏡への応用例を示す図。

【図 32】本発明のプロープの近接場光記録/再生装置への応用例を示す図で、(a)全体図、(b)光学系を示す図。

【図 33】本発明のプロープの露光装置への応用例を示す図。

【図 34】従来の平面金属散乱体を用いたプロープを示す図。

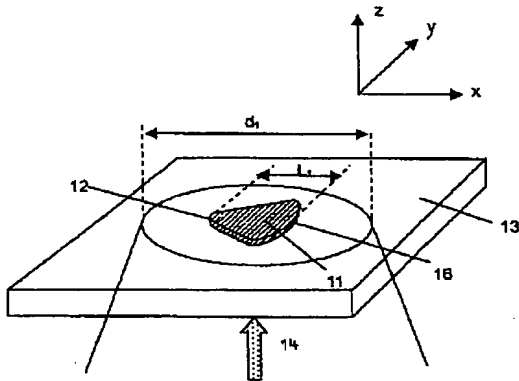
【符号の説明】

1 1 近接場光が発生する頂点に向かい幅が徐々に小さくなる平面状の散乱体
 1 2 近接場光が発生する頂点
 1 3 基板
 1 4 入射光
 1 6 近接場光が発生する頂点と他端側のエッジ
 9 1 試料または媒体
 1 6 1 パッド
 1 7 1 試料または媒体
 1 8 1 散乱体と遮光膜の間に形成された開口
 1 8 2 遮光膜
 1 8 3 近接場光が発生する頂点近傍に形成された開口
 1 8 4 近接場光が発生する頂点と他端側のエッジ近傍に形成された開口
 1 9 1 近接場光が発生する頂点近傍に形成された V 字の開口
 1 9 2 近接場光が発生する頂点と他端側のエッジ近傍に形成された直線状の開口
 1 9 3 近接場光が発生する頂点と他端側のエッジ近傍に形成された曲線状の開口
 2 1 1 遮光膜
 2 1 2 開口
 2 1 3 開口を透過した光
 2 1 4 入射光
 2 2 1 光検出器
 2 3 1 犠牲基板
 2 3 2 光透過性層
 2 3 3 レジスト層
 2 3 4 露光用の光の入射方向
 2 3 5 透明基板
 2 5 1 基板
 2 5 3 斜めに入射する入射光
 2 5 4 垂直に入射する入射光
 2 5 5 斜めに削られた基板面
 2 6 1 Solid Immersion Lens

2 6 2 対物レンズ
 2 6 3 フレネルレンズ
 2 6 4 反射膜
 2 6 5 遮光膜
 2 6 6 電極
 2 6 7 反射膜
 2 6 8 活性層
 2 7 1 円錐または多角錐の突起の先端に形成された平坦な面
 2 7 2 円錐または多角錐の突起の側面
 2 8 1 四角錐
 2 8 2 外側から入射する入射光
 2 8 3 内側から入射する入射光
 2 8 4 偏光方向
 9 0 1 近接場光プロープ
 9 0 2 カンチレバの裏面
 9 0 4 集光レンズ
 9 0 5 ビームスプリッタ
 9 0 6 半導体レーザ
 9 0 7 検出器
 9 0 8 走査用ピエゾ素子
 9 0 9 振動用ピエゾ素子
 9 1 0 試料
 9 1 1 基板
 9 1 2 集光レンズ
 9 1 3 検出器
 9 1 4 PSD
 9 1 6 コリメートレンズ
 7 0 1 記録ディスク
 7 0 2 スライダ
 7 0 3 光ヘッド
 7 0 4 アクチュエータ
 7 0 5 サスペンション
 7 0 6 アクチュエーター
 7 0 7 対物レンズ
 7 0 8 半導体レーザー
 7 0 9 コリメートレンズ
 7 1 0 ビーム整形プリズム
 7 1 1 圧電素子
 7 1 2 ビームスプリッタ
 7 1 4 ミラー
 7 1 5 集光レンズ
 7 1 6 偏光子
 7 1 7 光検出器
 3 2 1 フォトレジスト
 3 2 2 基板
 3 4 1 平面状金属パターン
 3 4 2 頂点
 3 4 3 2 つの頂点間。

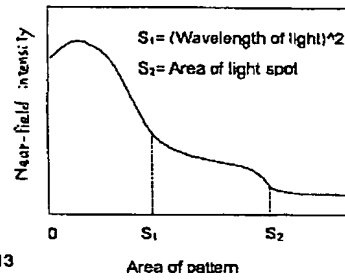
【図1】

図1



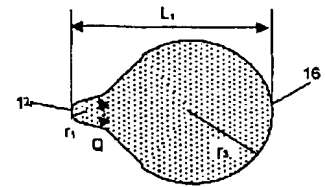
【図2】

図2

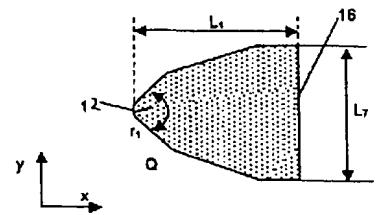


【図4】

図4

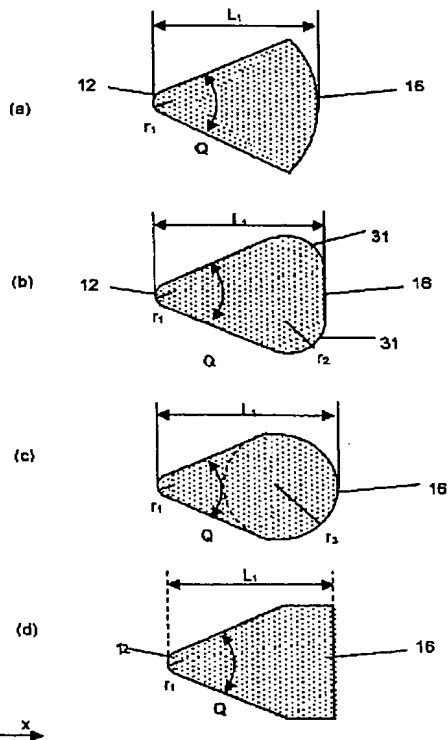


(b)



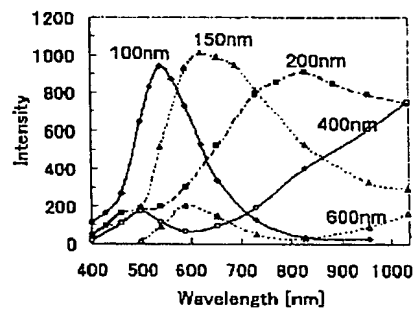
【図3】

図3

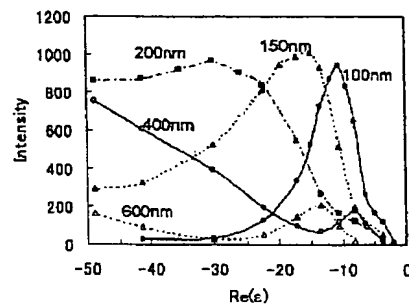


【図6】

図6

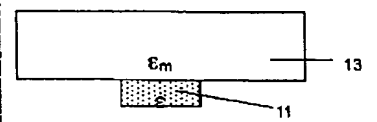


(b)

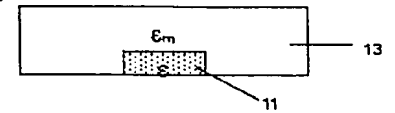


【図7】

図7

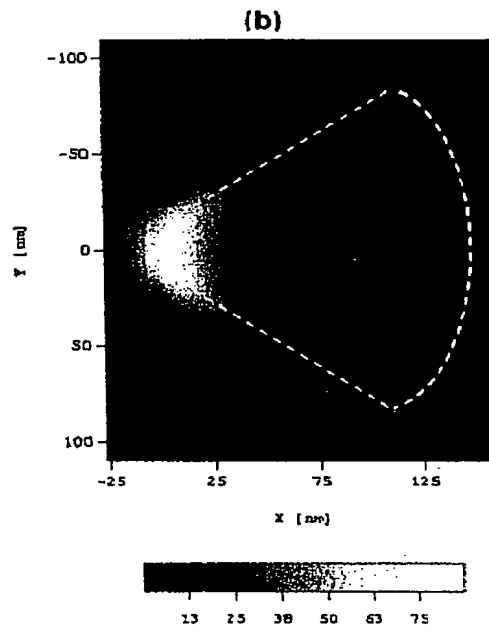
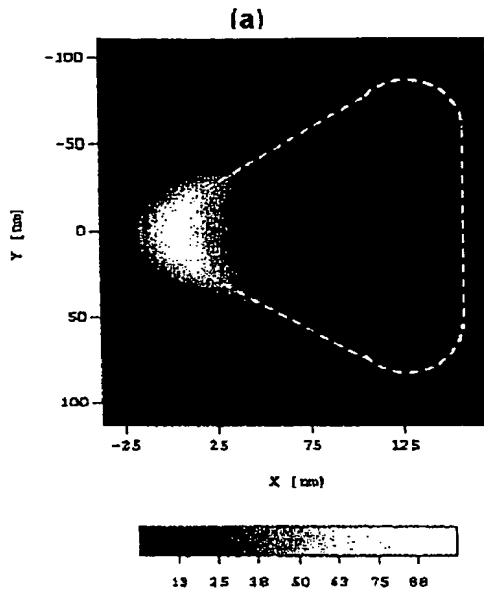


(b)



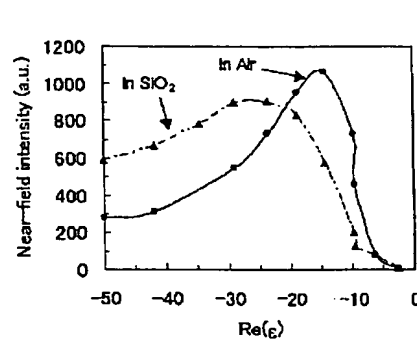
【図5】

図5



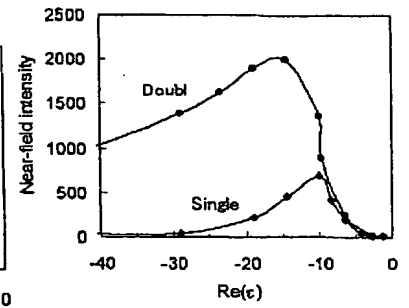
【図8】

図8



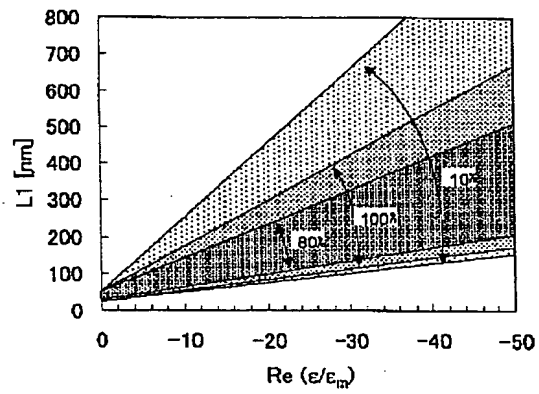
【図16】

図16



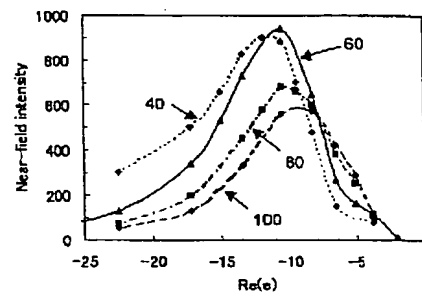
【図9】

図9

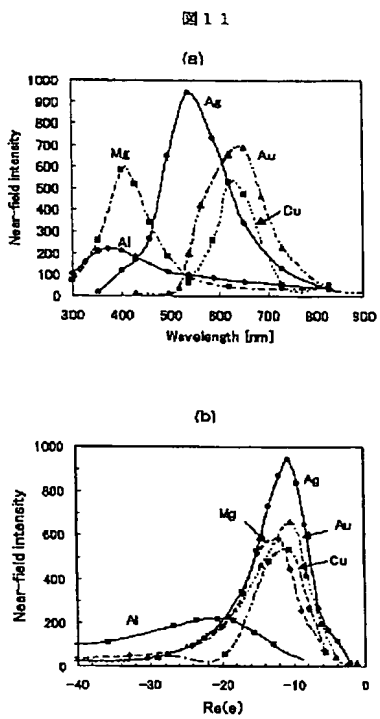


【図10】

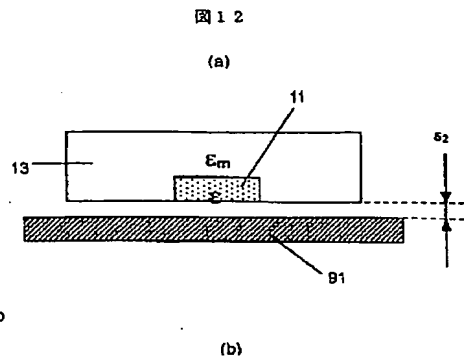
図10



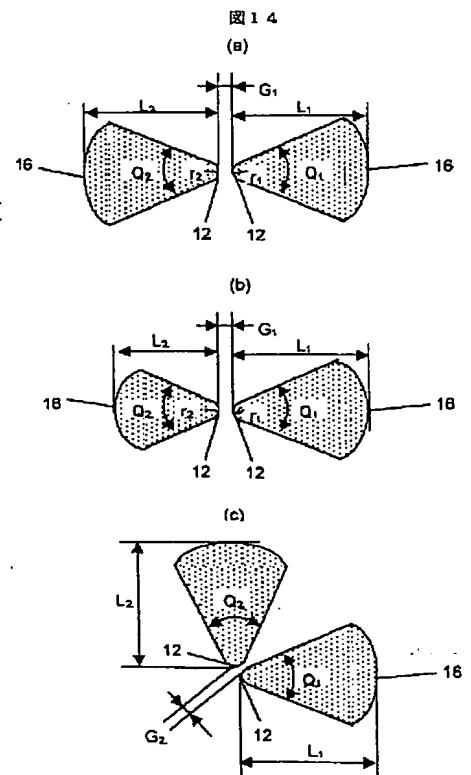
【図11】



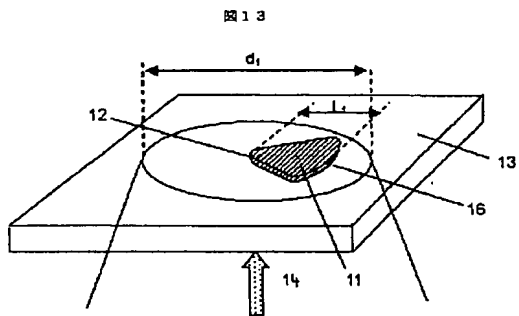
【図12】



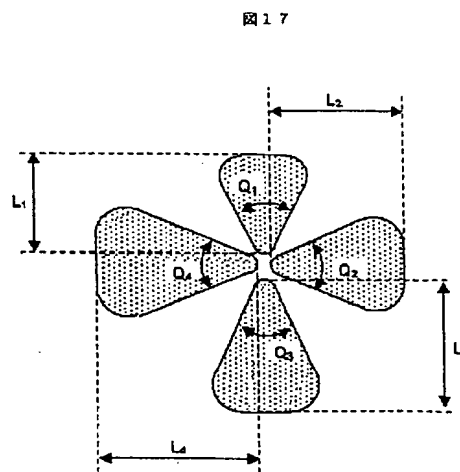
【図14】



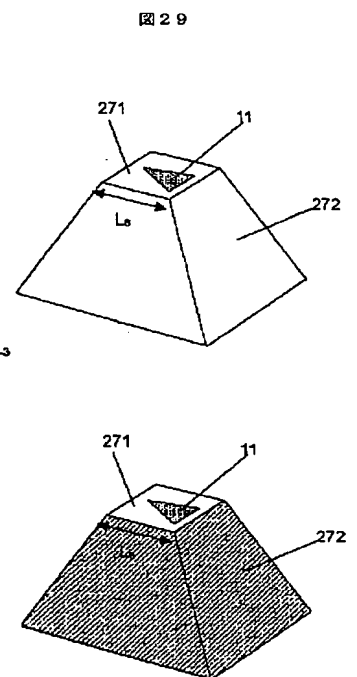
【図13】



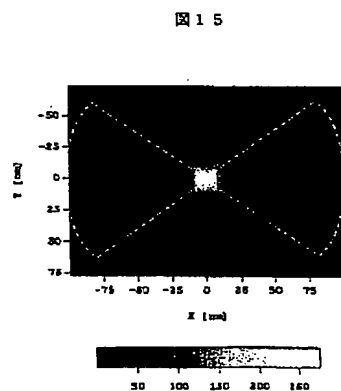
【図17】



【図29】

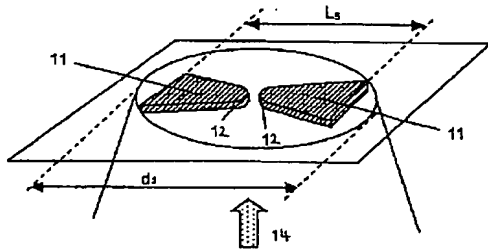


【図15】



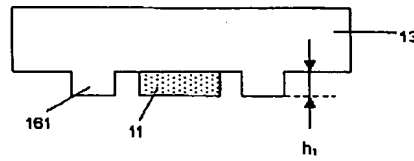
【図18】

図18



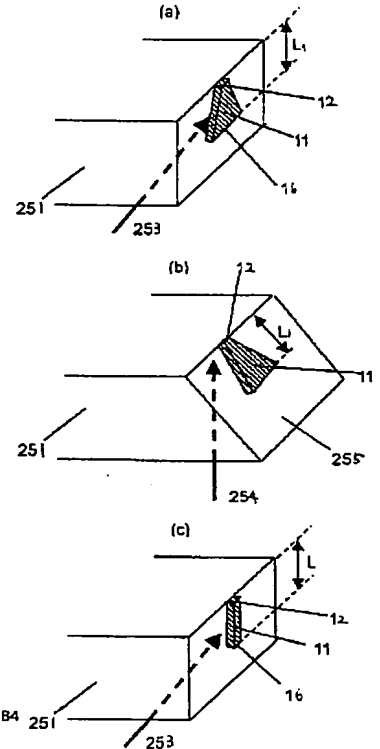
【図19】

図19



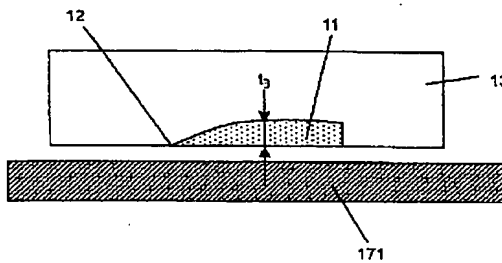
【図27】

図27



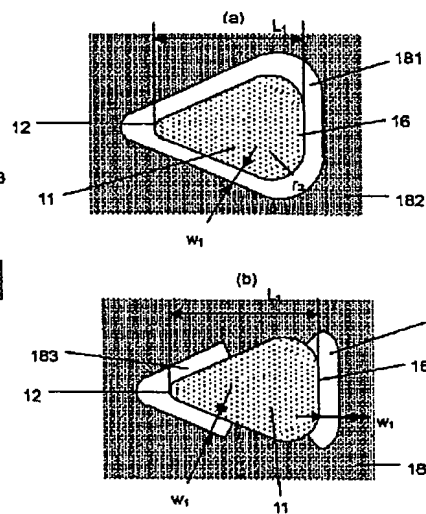
【図20】

図20



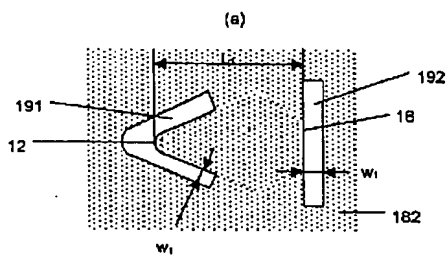
【図21】

図21



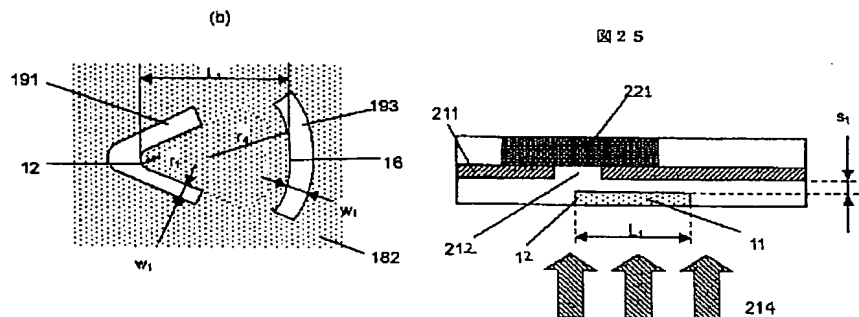
【図22】

図22



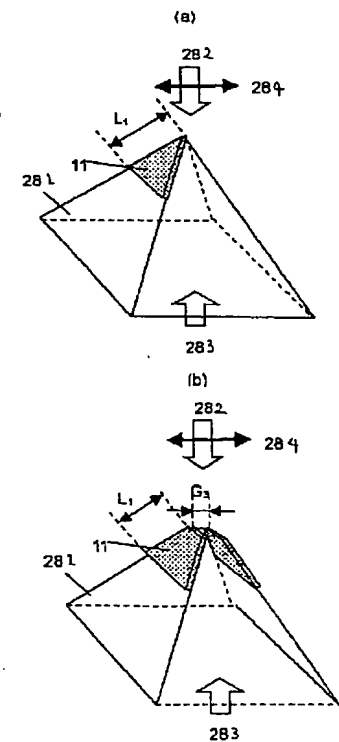
【図25】

図25

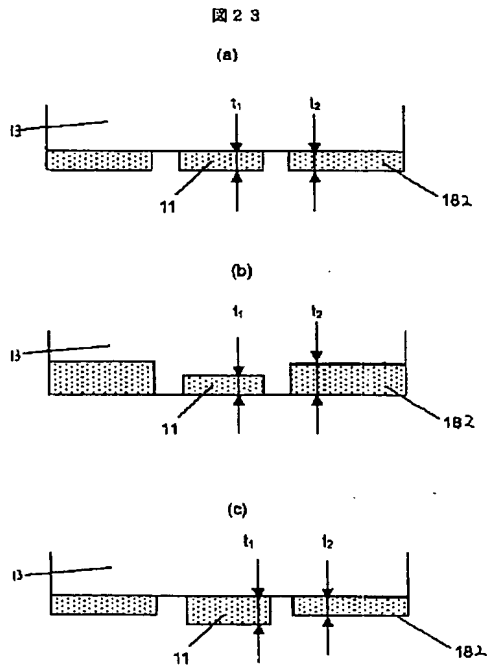


【図30】

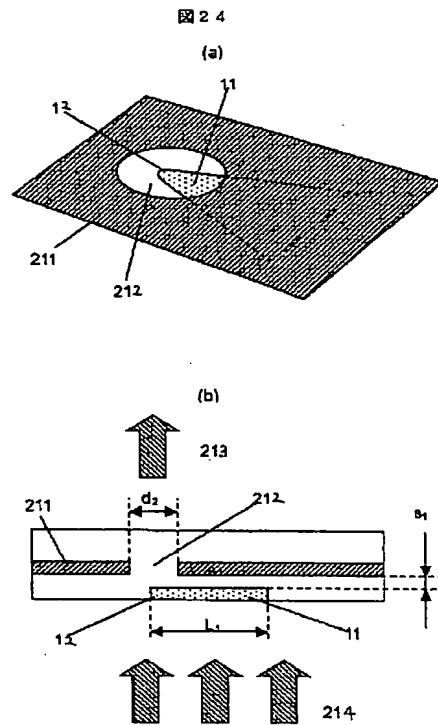
図30



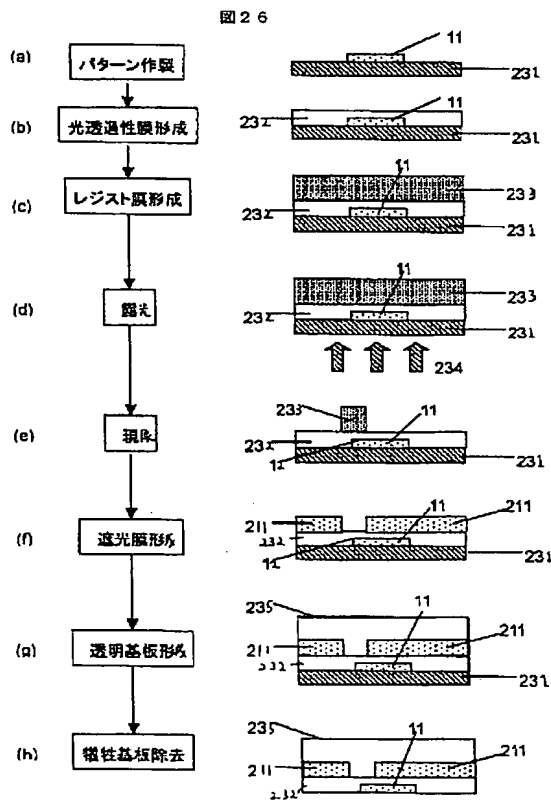
【図23】



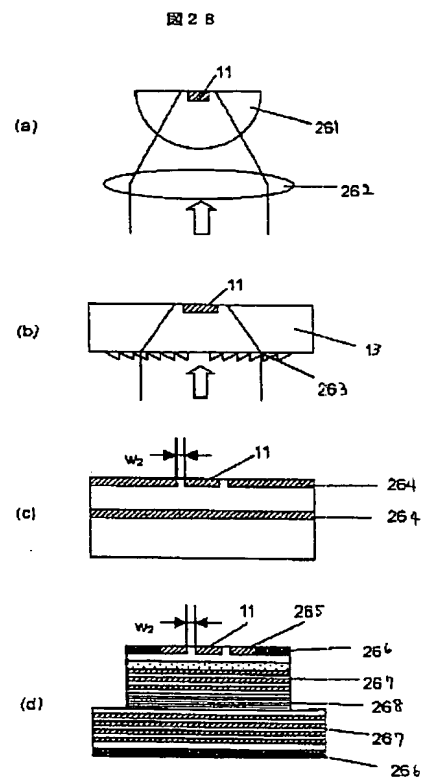
【図24】



【図26】

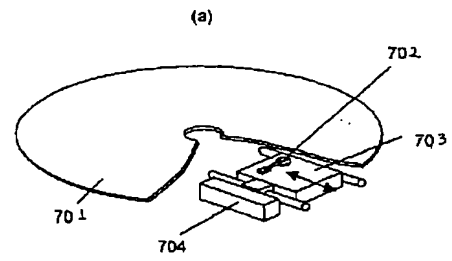


【図28】

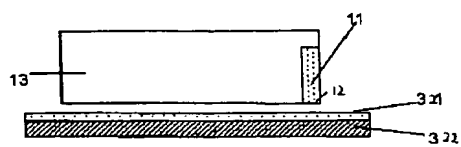


【図 3 2】

图 3 2

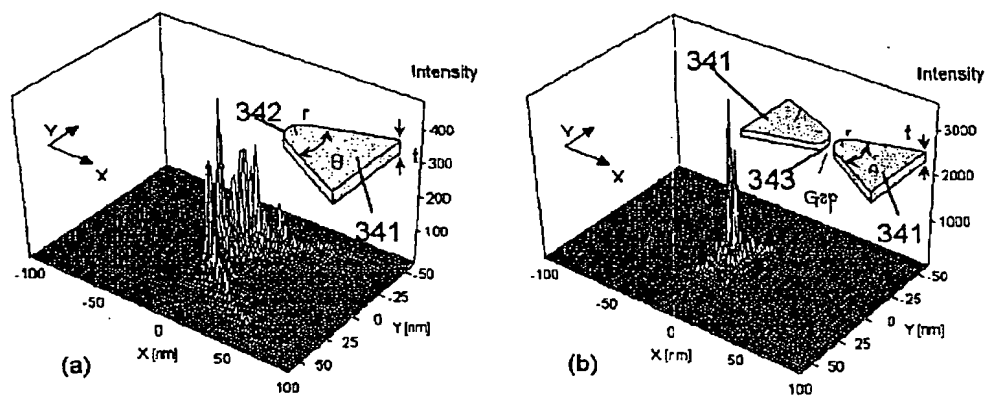


33



【図34】

図34



フロントページの続き

(72)発明者 助田 裕史
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 2H052 AF19

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.